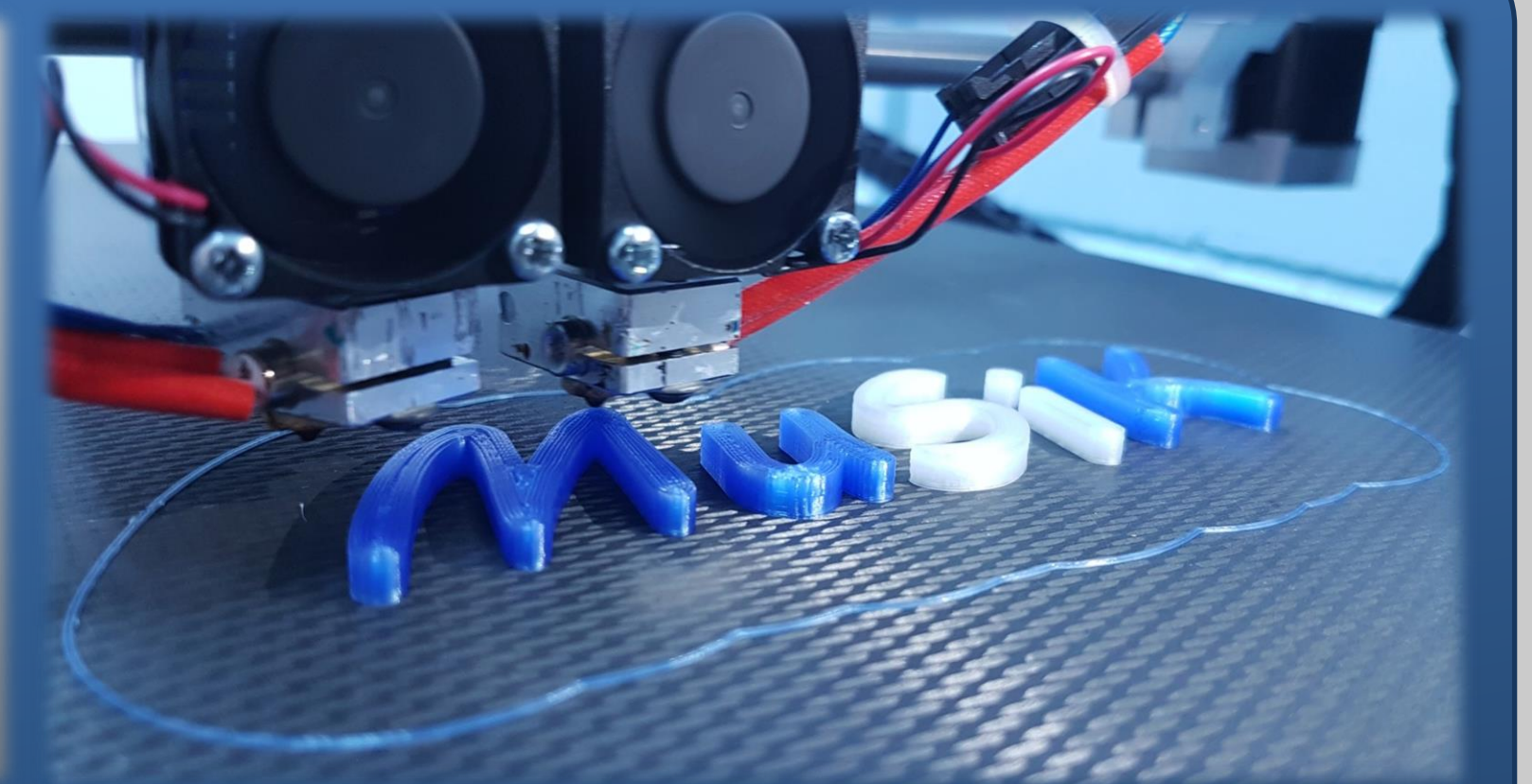


MuSiK Projekt

Multimaterialdruck von C/Si/SiC-Keramiken



Projekt

Additive Verfahren wurden ursprünglich zur effizienten Herstellung von Mustern und Prototypen entwickelt und bieten besondere Einsatzpotentiale, die mittlerweile auch für die Kleinserienproduktion hochinteressant sind.

Im Bereich der keramischen Komponenten ist der Einsatz additiver Verfahren bislang nicht weit verbreitet. Ein Grund dafür ist unter anderem die eingeschränkte Verfügbarkeit der notwendigen Fertigungsanlagen und entsprechend kompatibler Ausgangsstoffe.

Im Verbundvorhaben MuSiK wird dieser Umstand angegangen und der 3D-Druck mittels Extrusionsverfahren von Kohlenstoff- (C), Silizium- (Si) und Siliziumkarbid-(SiC) haltigen Keramiken erforscht.

Ziele

Drucken von gefüllten HT-Thermoplasten mittels Fused Layer Modeling und keramische Pasten mittels Robocasting mit anschließender Konvertierung in „C/SiC-Keramik“ durch Carbonisierung und ggf. Silizierung der gedruckten Formkörper

Technische Fragestellungen

- Filamente mit thermoplastischem Verhalten, hohem Füllstoffgehalt und geeigneter Biegsamkeit
- Pasten für RC mit hohem Feststoffgehalt und geeigneten rheologischen Eigenschaften
- Kontrolle der Schwindung, Porosität und keramischen Ausbeute

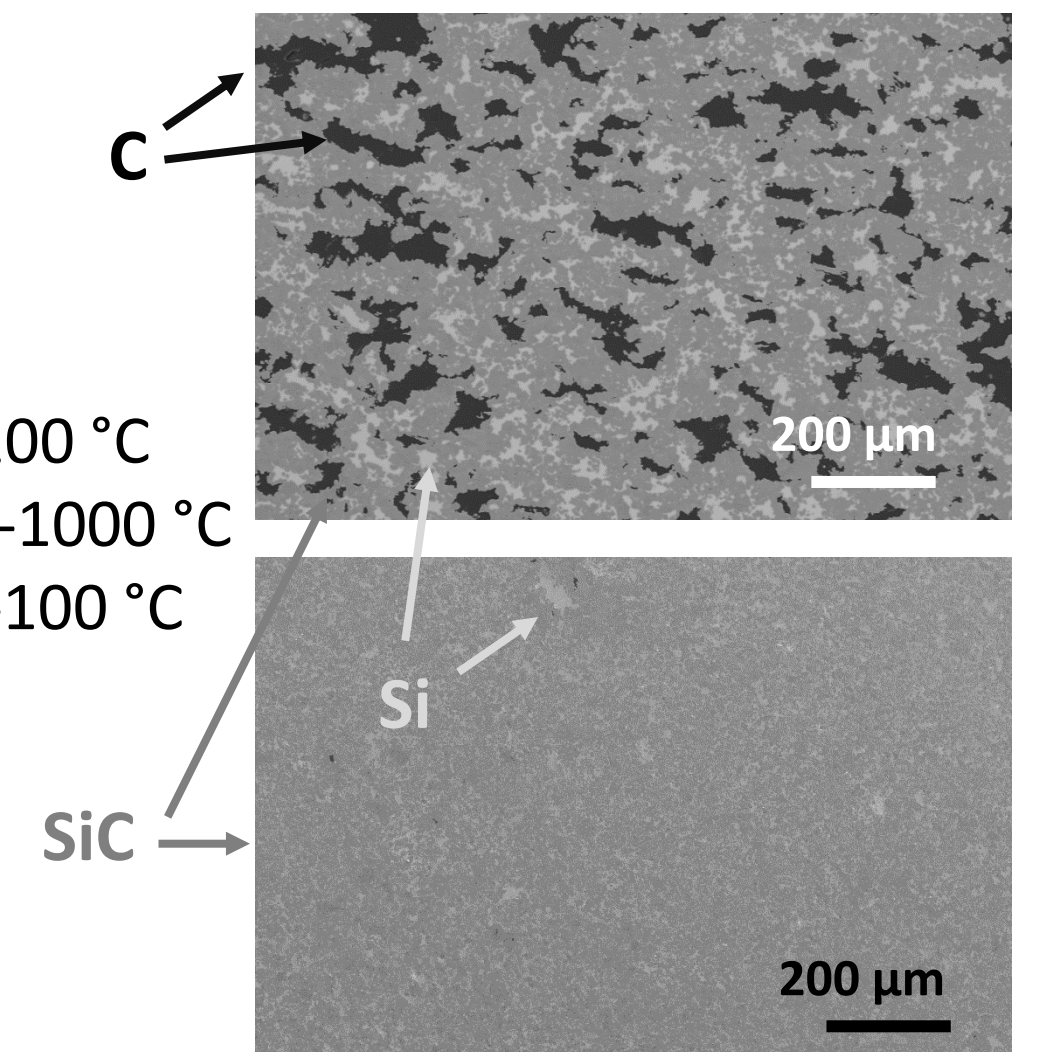
C/Si/SiC –Monolithische Keramiken

C/Si/SiC-Keramiken bestehen zu mehr als 50 vol% aus SiC, wobei sich die Zusammensetzungen in einem breiten Spektrum variieren lassen. Dadurch und durch die verschiedenen Keramisierungsprozesse können die Eigenschaften modifiziert und optimiert werden.

- Dichte: 2,5-3,1 g/cm³
- Porosität: 0-10 %
- Bruchzähigkeit: 3-9 MPa*m^{0,5}
- max. Einsatztemperatur Luft: 1350-1650 °C
- Wärmeleitfähigkeit: 65-130 W/(m*K) @20-100 °C
- Ausdehnungskoeffizient: 3-5,5 *10⁻⁶ K⁻¹@20-1000 °C
- Elektrischer Widerstand: 0,1-10¹¹ Ωcm @20-100 °C
- Vickershärte HV1: 20-28 GPa

Nachteile:

- Sprödhheit
- Komplizierte Herstellung



Mikrostrukturen der C/Si/SiC-Keramiken

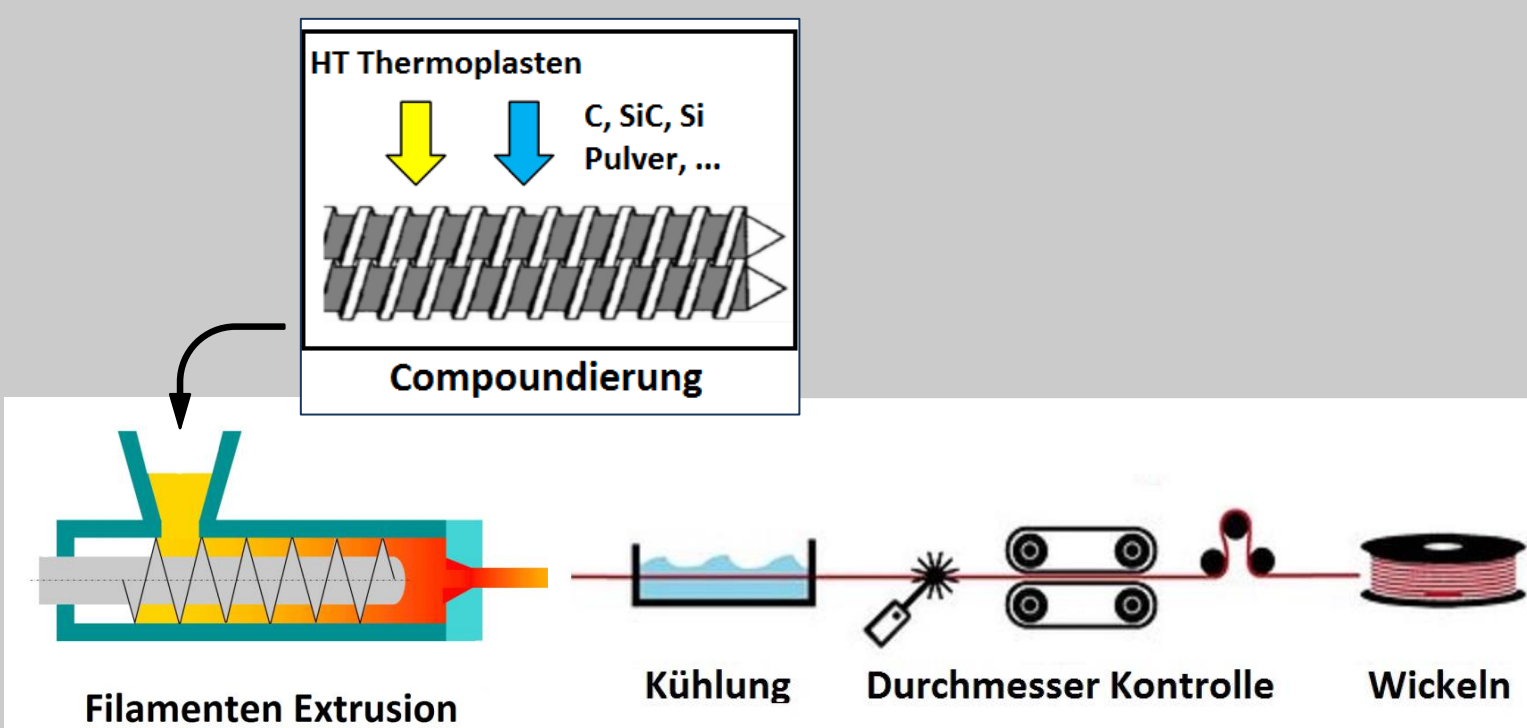
Feedstock-Aufbereitung

3D Drucken

Keramisierung

FLM

Fused Layer Modeling



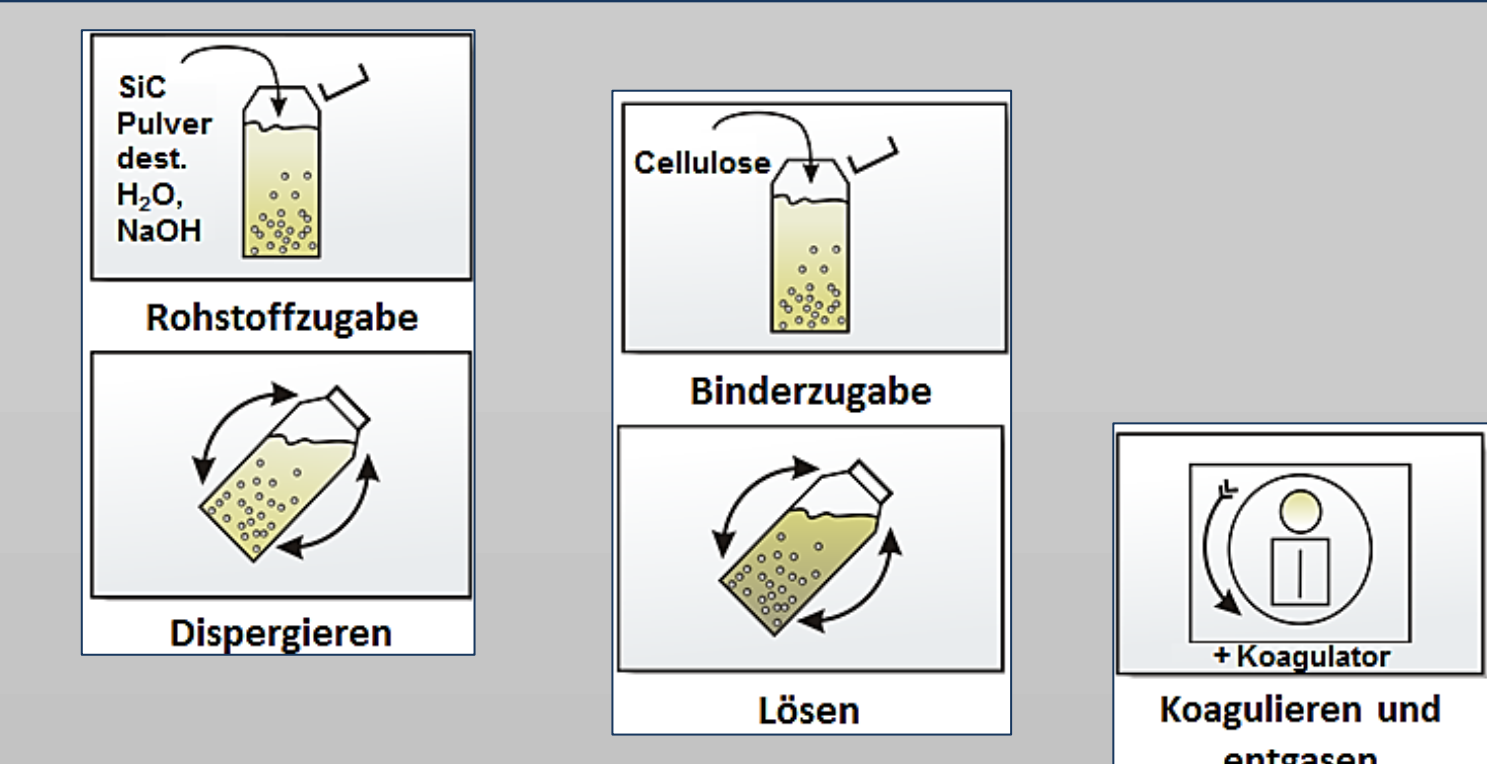
Technische Daten HTP260

- 260 °C max. Bauraumtemperatur
- 270 °C max. Druckbetttemperatur
- 450 °C max. Düsentemperatur
- Bauraumgröße (lxbxh): 350x150x165 mm³
- 2 Düsen für unterschiedliche Werkstoffe



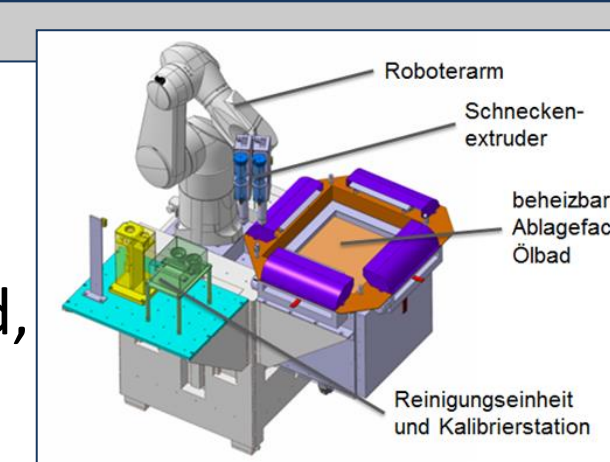
RC

Robocasting



Technische Daten RobFab

- Sechssachsiger Roboterarm
- Beheizbares Ablagefach mit Ölbad, um schnelles Trocknen zu verhindern und somit Trocknungsrisse zu vermeiden
- Drucken möglich mit verschiedenen Düsendurchmessern und -geometrien



- Entbinderung
- Pyrolyse (Pyr)
- Liquid Silicon Infiltration-Prozess (LSI)
- Reaktionsgebundenes Sintern
- Druckloses Sintern

Zielbauteil I Widerstandsheizer

- Anwendung bei Temperaturen bis zu 1650 °C an Luft
- Definierter Bauteilwiderstand notwendig
- Generieren unterschiedlich leitfähiger Bereiche innerhalb des Bauteils
- Optimierung der röhrenförmigen Geometrie
- Multimaterialsystem

Zielbauteil II Heißgaswärmetauscher

- Anwendungstemperaturen bis 750 °C
- Abgas-Atmosphäre
- gute Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit
- Kreuzstromprinzip über periodische zelluläre Strukturen
- Optimierung der druckbaren Geometrie

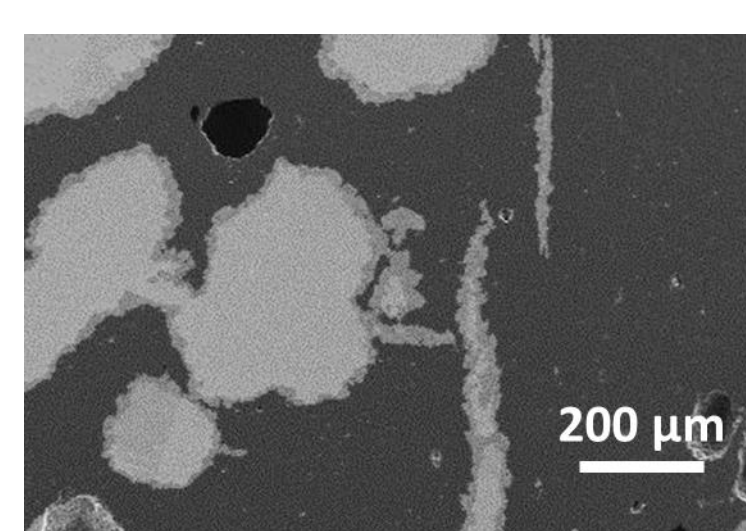
Charakterisierungsmethoden

- Rheologie:** Messkneten, Rotations- und Kapillarrheometer
- Stabilität der Dispersionen:** Zeta-Potential
- Mikrostruktur- und Phasenanalyse:** Lichtmikroskop, Rasterelektronenmikroskop und Energiedispersive Röntgenspektroskopie
- Dichte-/Porositäts- und Oberflächenanalyse:** Immersionsverfahren, Gaspyknometrie, Quecksilberdruckporosimetrie, Computertomographie
- Thermische Analyse:** Thermogravimetrische Analyse (TGA), Dynamische Differenz-Scanning-Kalometrie (DSC), Laser Flash Analyse (LFA)
- Mechanische Analyse:** 4-Punkt-Biegeversuch
- Messung des elektrischen Widerstands**

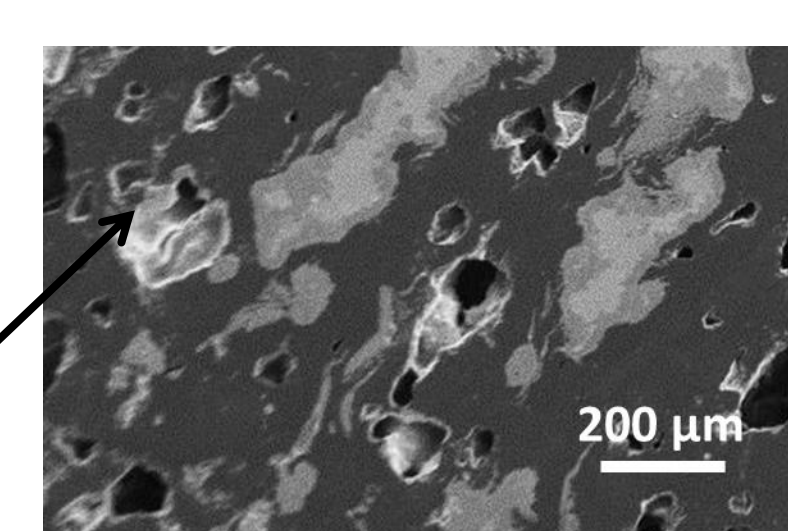
Bisherige Arbeitsschritte

Herstellung von Feedstockpräparationen für Fused Layer Modeling und Robocasting

- RC**
 - Einfluss von Pastenzusammensetzung auf Rheologie
 - Testen der Verarbeitbarkeit mit Robocaster
- FLM**
 - Fertigungstests und Entwicklung zellulärer Strukturen



PEEK + 30 vol%
Kohlenstoff
Nach Pyr und LSI



PEI + 40 vol% Graphit
Nach Pyr und LSI

Porosität

C= schwarze
SiC= graue
Si = hellgraue bis weiße
Bereiche